

Methods of information systems synthesis

UDC 502.5/8

DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.2.06>Lala Bekirova¹, Esmira Mammadova², Elvira Bunyatova¹¹ Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan² Institute of Space Researches of Natural Resources of National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

DEVELOPMENT OF THE METHODS FOR CALCULATING THE MAIN INDICATORS OF HEAT ISLANDS IN URBAN AREAS

Abstract. The article is dedicated to the methods developed to calculate the main parameters of "heat islands" that appear in densely built-up urban area. Although remote sensing imaging is ideally used to track and detect frequent land cover changes in urban and surrounding areas as a result of sustainable urbanization and to calculate key parameters of "heat islands" seen in densely populated urban areas, satellite imagery is digitally manually. The transformation of a parametric image into a land cover map using existing methods of classification is a long process, and therefore methods are proposed to determine the main indicators of the impact of "heat islands" in urban areas. A modified building density index has been formulated, which is highly informative, involving: (a) the proposed index reaches an extremum when the known building density index BDI and NDVI are equalized, (b) when the specified maximum is reached, it is easy to calculate the LST indicator using the known regression dependences of BDI and NDVI from LST. The method has been developed to calculate the area of "heat islands" on the base of the equivalent radius calculation using the known dependence function of the building density on the distance to the center of the urban area. Our study shows that the distribution of buildings and the slope of the relief affect the surface temperature (LST), in addition, the ratios of different LSTs vary in cities of different sizes, and each city has a temperature difference in LSTs, so the urban heating island. To reduce the impact, it is important to identify the characteristics of the thermal environment in cities of different sizes. Urban greening is increasingly valued by cities around the world as an effective measure to reduce the negative effects of the urban heating islands, with different numbers and types of landscape dimensions, different statistical methods used in different surveys, as well as metric scale dependence and contextual differences between cities and we can overcome these challenges by conducting comparative research on time and space using a consistent methodology.

Keywords: heat islands; urban area; surface temperature; informativeness; method.

Introduction

As the results of numerous studies show, "heat islands", i.e., areas with higher temperatures appear not only in the cities of developed countries but also in developing countries. The main reasons for the change in the temperature of the earth's surface in urban areas are the lack of vegetation, thermal and physical properties of construction materials, the presence of buildings, uneven surfaces, and the presence of anthropogenic heat sources. All these factors lead to a change in local energy and an increase in atmospheric temperature in densely built-up areas of cities [1-5].

Over the years, land use and land cover changes have different environmental impacts, and urbanization, i.e., the conversion of natural surfaces into the population and economic growth uses, has a major impact on the urban climate, and area measurements and numerical simulations show that changes in surface features and vegetation occur in urban areas has a significant impact on local climate change near the surface [10].

Land cover in urban areas tends to change more rapidly in a short period of time than elsewhere due to sustainable urbanization, and urbanization, especially in urban and suburban areas, causes frequent changes in land cover as a result of rapid economic development. are found because they are relatively modern and give a panoramic view [8].

Dry surface temperature (LST) measured from satellite imagery has been used to study local and global climate models, urban islands, and the use of remote sensing in groundwater or surface temperature studies

has increased because it provides a synoptic and wide view of an area. Numerous studies have been conducted using LST and NDVI to determine the relationship between urban surfaces and heating temperature from images [9].

Analysis of publications. According to the work [1-6], a fairly strong correlation between surface temperature (*LST*) was revealed and building density in urban areas, where the correlation coefficient reached 0,61. As mentioned in [7], such thermal anomalies in urban areas, together with the general trend of climate change towards warming, lead to the effect of global warming in cities, which negatively affects the health and working capacity of the urban population, increases mortality, and shortens life expectancy. According to the estimates presented in [7], during 1983-2016s, globally, the thermal impact on the urban population increased by almost 200%, at the same time, the growth rate of such impacts outpaced the increase in the urban population by 52%. The above-mentioned issue emphasizes the importance and relevance of the development of new methods and techniques to assess the physical and spatial indicators of the "heat islands" effect. Furthermore, the article illustrates the proposed methods for determining the main physical and geometric indicators of urban areas with higher temperatures.

Research results

In order to assess the rate of "heat islands" effect, there are various spectral indices, the main of which are the following building density indices: the normalized building density index of *NDBI*, defined as:

$$NDBI = \frac{MIR-NIR}{MIR+NIR} \quad (1)$$

As it is seen from (1), the normalized building density index is defined as the difference between surface reflectance in the mid-infrared (*MIR*) and near-infrared (*NIR*) areas. *NDBI* was first proposed in [8] and is a dimensionless estimate of building density in the area where high values of this index indicate a high degree of building.

Building density index *BDI* is defined as [9]:

$$BDI = NDBI - NDVI, \quad (2)$$

where *NDV* - the normalized difference vegetation index is defined as

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}. \quad (3)$$

As it is seen from expressions (1), (3), near infrared reflection (*NIR*) not only increases the value of *NDVI*, but also reduces the value of *NDBI*. As a result, the *BDI* index is significantly reduced due to the presence of vegetation fields in the study area. In order to correct this situation, it is reasonable to introduce a new, modified building density index (*MBDI*) defined as:

$$MBDI = (BDI)^{\alpha_1} \cdot (NDVI)^{1-\alpha_1}. \quad (4)$$

where α_1 is weighting factor.

Consider a special case, when $\alpha_1 = 0,5$. In this case, from (4) we obtain

$$MBDI^2 = BDI \cdot NDVI. \quad (5)$$

Taking into account (2) and (5), we obtain

$$MBDI^2 = NDBI \cdot NDVI - NDVI^2. \quad (6)$$

Investigating *MBDI*² on an extremum, we obtain

$$\frac{d(MBDI^2)}{d(NDVI)} = NDBI - 2NDVI. \quad (7)$$

From expression (7) we find the maximum condition of *MBDI*:

$$NDVI = \frac{NDBI}{2}. \quad (8)$$

From expression (2) we find

$$NDBI = BDI + NDVI. \quad (9)$$

From expressions (8) and (9) we find

$$NDVI = BDI. \quad (10)$$

Thus, the newly introduced *MBDI* index under condition (10) reaches a maximum, which prevents the effect of excessive reduction due to an increase in *NIR*, as observed in the *BDI* index. In addition, the presence of such a maximum, with the presence of regression dependences $NDVI = f(LST)$ и $BDI = \varphi(LST)$, where *LS* is the temperature on the earth surface, allows us to determine the value of *LST* (Fig. 1). Let us show this by the example of the results of experimental studies provided in [9]. The corresponding regression equations have the following form:

$$NDVI = 0,94 - 0,03LST; \quad (11)$$

$$BDI = -1,5 + 0,06LST. \quad (12)$$

Taking into account (10), (11), (12) we can write

$$-1,5 + 0,06LST = 0,94 - 0,03LST. \quad (13)$$

From (13) we find

$$0,09LST = 2.444 ; \quad LST \approx 27^\circ\text{C}. \quad (14)$$

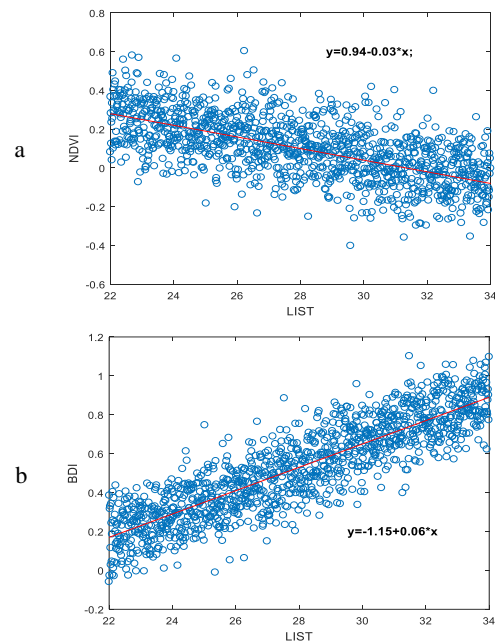


Fig. 1. Regression lines of dependence *NDVI* (a) and *BDI* (b) from *LST*

Tus, the main property of the newly proposed modified building index development is that (a) this index reaches a maximum when condition (10) is reached; (b) condition (10) is reached at a certain value of *LST*, determined by the regression lines of $NDVI = f(LST)$ and $BDI = \varphi(LST)$. These features emphasize the high informativeness of the newly introduced *MBDI* index.

Another important indicator of urban “heat islands” is the geometric site of such areas with higher temperature. According to [10], the spatial change in the density of urban land use can be expressed as a function depending on the distance to the city center as a modified sigmoid function:

$$f(r) = \frac{1-c}{1+\exp\left[\alpha\left(\frac{2r}{D}-1\right)\right]} + c, \quad (15)$$

where *f* is an urban density development; *r* is the distance from city center; *c* is a constant as an asymptote; *f* determines the density of buildings on the outskirts; *D* is a constant characterizing the degree of city expansion.

Note that for compiling temperature maps, such a concept as normalized surface temperature, i.e., LST_n is often used, defined as

$$LST_n = \frac{LST-LST_{min}}{LST_{max}-LST_{min}}, \quad (16)$$

where *LST* is current temperature; LST_{max} , LST_{min} is respectively, the maximum and minimum temperature values in the area. The results of the analysis of the regression relationship between LST_n and indicators of *f*(*r*), carried out according to the method of concentric rings, the center of which coincides with the center of the urban area (Fig. 2), are presented in [10]. Along the perimeter of each of the rings, indicators of *f*(*r*) and LST_n and regression functions were calculated.

$$LST_n = LST_n(f_r). \quad (17)$$

A pair of such regression curves, calculated from the data obtained during a day and night, is shown in Fig. 3.

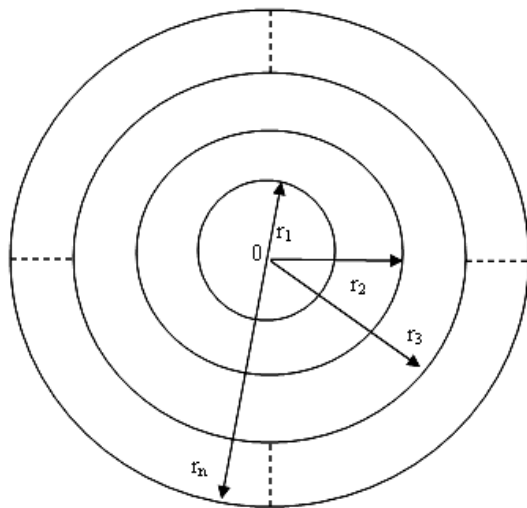


Fig. 2. Figure explaining the method for calculating the regression curve of $LST_n = LST_n(f_r)$

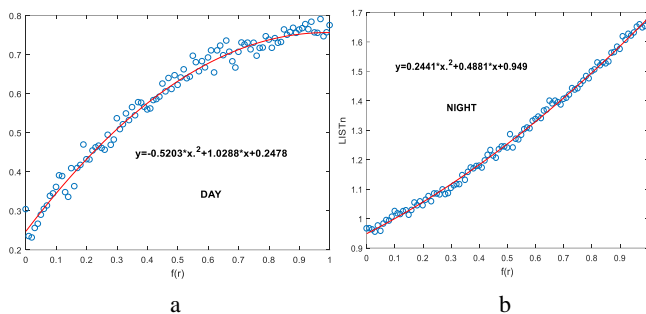


Fig. 3. Regression lines of dependence of LST_n from $f(r)$, determined by the method of concentrated rings: (a) according to the data obtained during a day; and (b) night

Based on the above-mentioned, the proposed method for determining the average area of the “heat island” can be presented in the form of the following points:

1. Measurement of LST in each pixel of the study area.
2. Calculating LST_n on all pixels.
3. Determining $f(r)$ on all pixels using the regression curves shown in Fig. 3.
4. Averaging values $f(r)$ on all pixels.

$$f(r)_{av} = \sum_{i=1}^N f(r)_i, \quad (18)$$

where N is the number of pixels;

5. Using the inverse transformation of the formula (15) in the form

$$r = \varphi(f(r), D, c) \quad (19)$$

substituting $f(r) = f(r)_{av}$, with known D, c the value r_{eq} - equivalent radius is calculated.

6. The average area of “heat islands” is calculated according to the formula $S_{h.i.}$.

$$S_{h.i.} = \pi r_{eq}^2. \quad (20)$$

Thus, formulas (15)-(20) form the basis of the proposed method for calculating the area of “heat islands” in urban areas.

Conclusions

Thus, the article proposes methods for determining the key indicators of the effect of “heat islands” arising in urban areas.

A modified building density index is proposed, which is highly informative, including the followings:

- a) the proposed index reaches an extremum when the known building density index of BDI и $NDVI$ are equalized;
- b) when the specified maximum is reached, it is easy to calculate the indicator of LST using known regression dependencies of BDI and $NDVI$ from LST .

The method for calculating the area of “heat islands” is also proposed, based on the calculation of the equivalent radius using the known dependence function of the building density on the distance to the center of the urban area.

REFERENCES

1. Masoudi, M. and Tan, P. (2019), “Multi-year comparison of the effects of spatial pattern of urban green spaces on urban land surface temperature”, *Lands and Urban Planning*, Vol. 184, pp. 44-58, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.023>.
2. Zhang, Y. and Sun, L. (2019), “Spatial-temporal impacts of urban land use land cover on land surface temperature: Case studies of two Canadian urban areas”, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, Vol. 75, pp. 171-181.
3. Yang, J., Zhan, Yi, Xi, Xiaoc, Jianhong Cecilia, Xiad, Sune W. and Li, X., (2020), “Investigation the diversity of land surface temperature characteristics in different scale cities based on local climate zones”, *Urban Climate*, Vol. 34, 100700, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100700>.
4. Oke, T. R. (1982), “The energetic basis of the urban heat island”, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 108, Is. 465, pp. 1-24.
5. Ayanlade, A. (2017), “Variations in urban surface temperature: An assessment of land use change impacts over Lagos metropolis”, *Weather*, Vol. 72, Is. 10, pp. 315-319, DOI: <https://doi.org/10.1002/wea.2925>.
6. Maishella, A., Dewantoro, B. and Aji, M. (2020), “Correlation Analysis of Urban Development and Land Surface Temperature Using Google Earth Engine in Sleman Regency, Indonesia”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 540, 012018, DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012018>.
7. Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C., Verdin, A., Sweeney, S., Grace, K., Peterson, P. and Evans, T. (2021), “Global urban population exposure to extreme heat”, *PNAS*, Vol. 118, No. 41, DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2024792118>.
8. Zha, Y., Gao, J. and Ni, S. (2003), “Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 3, pp. 583-594.
9. Mwangi, P. W., Karanja, F. N. and Kamau, P. K. (2018), “Analysis of the relationship between land surface temperature and vegetation and built-up indices in upper-hill, Nairobi”, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-16, DOI: <https://doi.org/10.4236/gep.2018.61001>.
10. Bonafoni, S. and Keeratikasikorn, C. (2018), “Land surface temperature and urban density: multiyear modeling and relationship analysis using MODIS and landsat data”, *Remote Sens*, Vol. 10, Is. 9, 1471, DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10091471>.

ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бекірова Лала – доктор технічних наук, доцент, кафедра приладобудування, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан;

Lala Bekirova – Doctor of technical science, Assistant Professor, Instrumentation Engineering Department, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan;
e-mail: lala_bekirova@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0584-7916>.

Мамедова Есмiра – заступниця начальника відділу, Інститут космічних досліджень природних ресурсів Національного аерокосмічного агентства, Баку, Азербайджан;

Esmira Mammadova – Deputy head of department, Institute of Space Researches of Natural Resources of National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan;
e-mail: esimammedova1985@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5618-5281>.

Бунятова Ельвіра – кандидат технічних наук, асистентка кафедри приладобудування, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан;

Elvira Bunyatova – PhD, Assistant, Instrumentation Engineering Department, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan;
e-mail: jenifer671.3@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6167-846X>.

Розробка методики розрахунку основних показників островів тепла в місті

Бекірова Лала, Мамедова Есмiра, Бунятова Ельвіра

Анотація. Стаття присвячена розробленим методикам розрахунку основних параметрів «острівців тепла», які виникають у густонаселених міських територіях. Хоча зображення дистанційного зондування ідеально використовується для відстеження та виявлення частих змін ґрунтового покриття в містах та прилеглих районах, у результаті сталої урбанізації та для розрахунку ключових параметрів «островів тепла», які спостерігаються в густонаселених міських районах, супутникові зображення вручну виконуються в цифровому вигляді. внесення параметричного зображення в карту земного покриття з використанням існуючих методів класифікації є тривалим процесом, тому запропоновано методи визначення основних показників впливу «острівців тепла» в міських районах. Сформульовано модифікований індекс щільності забудови, який є високоінформативним, що включає таке: (а) запропонований індекс досягає екстремуму, коли відомі індекси щільності забудови BDI та NDVI вирівнюються, (б) коли досягається заданий максимум, це надає можливість легко розрахувати показник LST, використовуючи відомі регресійні залежності BDI та NDVI від LST. Розроблено метод розрахунку площі «острівців тепла» на основі розрахунку еквівалентного радіусу з використанням відомої функції залежності щільності забудови від відстані до центру міської території. Наше дослідження показує, що розподіл будівель і нахил рельєфу впливають на температуру поверхні (LST), крім того, співвідношення різних LST різняться в містах різного розміру, і кожне місто має різницю температур в LST, тому є міські острова опалення. Для зменшення впливу важливо визначити характеристики теплового середовища в містах різного розміру. Міста в усьому світі все більше цінують озеленення міста як ефективний захід для зменшення негативного впливу міських островів опалення з різною кількістю та типами ландшафтних розмірів, різними статистичними методами, що використовуються в різних дослідженнях, а також залежністю від метричного масштабу та контексту. розбіжності між містами та нами, може подолати ці проблеми, проводячи порівняльні дослідження часу та простору з використанням послідовної методології.

Ключові слова: острівці тепла; міська територія; температура поверхні; інформативність; метод.

Разработка методик расчета основных показателей тепловых островов в городской территории

Бекирова Лала, Мамедова Эсмiра, Бунятова Эльвира

Аннотация. Статья посвящена разработанным методикам расчета основных параметров «островов тепла», возникающих в условиях плотной городской застройки. Хотя изображения дистанционного зондирования идеально подходят для отслеживания и обнаружения частых изменений растительного покрова в городах и прилегающих районах в результате устойчивой урбанизации, а также для расчета ключевых параметров «островов тепла», наблюдаемых в густонаселенных городских районах, спутниковые снимки вводятся в цифровой виде вручную. превращения параметрического изображения в карту земного покрова с использованием существующих методов классификации – длительный процесс, в связи с чем предлагаются методы определения основных показателей влияния «островов тепла» на городские территории. Сформулирован модифицированный индекс плотности застройки, обладающий высокой информативностью, включающий: (а) предлагаемый индекс достигает экстремума при уравнивании известных индексов плотности застройки BDI и NDVI, (б) при достижении заданного максимума легко рассчитать показатель LST, используя известные регрессионные зависимости BDI и NDVI от LST. Разработан метод расчета площади «островов тепла» на основе расчета эквивалентного радиуса с использованием известной функции зависимости плотности застройки от расстояния до центра городской территории. Наше исследование показывает, что на температуру поверхности (ТПП) влияет размещение зданий и уклон рельефа, кроме того, соотношения разных ТПП различаются в городах разного размера, и каждый город имеет разность температур ТПП, поэтому есть городские острова обогрева. Для снижения воздействия важно определить характеристики тепловой среды в городах разного размера. Городское озеленение все больше ценится городами по всему миру как эффективная мера снижения негативного воздействия городских островов обогрева, с разным количеством и типами ландшафтных измерений, разными статистическими методами, используемыми в разных обследованиях, а также зависимостью от метрической шкалы и контекстуальными факторами. различия между городами и нами, могут преодолеть эти проблемы, проводя сравнительные исследования времени и пространства с использованием последовательной методологии.

Ключевые слова: острова тепла; городская территория; температура поверхности; информативность; метод.